

6.Крючихин Е.М. Эффективная очистка городских сточных вод от биогенных элементов на ЦСА Санкт-Петербурга / Е. М. Крючихин, А. Н. Николаев, Н. А. Жильникова [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 12. – С.59-65.

7.Трунов П.В. Повышение эффективности биологического удаления соединений азота и фосфора на очистных сооружениях канализации / П. В. Трунов, С. В. Лунин, Е. В. Чув [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 9. – С.4-7.

8.Данилович Д.А. Крупномасштабные сооружения биологической очистки сточных вод с удалением биогенных элементов / Д. А. Данилович, М. Н. Козлов, О. В. Мойжес [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – № 10. – С.45-52.

9.Козлов М.Н. Опыт эксплуатации сооружений биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора / М.Н. Козлов, О.В. Харькина, А.Н. Пахомов [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 10. – С.35-42.

10.Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні в 2007 році. – К., 2008. – 302 с.

Отримано 14.03.2011

УДК 628.14

А.П.КАЛЮЖНИЙ, канд. техн. наук, О.О.ГУЗИНІН

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ НАПОРУ ТА ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ШОРСТКОСТІ СТАЛЕВИХ ТРУБ

Виконано порівняння за відомими формулами втрат напорів та визначення еквівалентної шорсткості труби залежно від витрати води в ній. Побудовано залежності, з яких визначено, що втрати напорів при початкових витратах води різко зменшуються, а сама еквівалентна шорсткість зростає при збільшенні витрат води.

Выполнено сравнение по известным формулам потерь напора и определения эквивалентной шероховатости трубы в зависимости от расхода воды в ней. Построены зависимости, из которых определено, что потери напора при начальных расходах воды резко уменьшаются, а сама эквивалентная шероховатость возрастает при увеличении расходов воды.

The work deals with pressure losses comparison and equivalent pipe roughness determination depending on the intensity of water flow in the pipe according to the well-known formulas. Correlations are constructed to determine that pressure losses rapidly decrease at the initial rate of water flow and equivalent roughness increases at growing water flow.

Ключові слова: порівняння, втрати напорів, еквівалентна шорсткість.

При русі в'язкої рідини виникають втрати енергії (напорів). Це виникає в результаті дії сил опору, де частина механічної енергії рідини переходить у теплову енергію, рідина нагрівається, а тепло з часом розсіюється. Тобто, частина енергії безповоротно втрачається потоком рідини. Одним із таких є опір, що розподіляється рівномірно по всій довжині потоку рідини – це втрати напорів по довжині [1, 2]. Для розрахунку втрат напорів по довжині використовують формулу Дарсі-Вейсбаха

$$h_l = \lambda \frac{l}{d_p} \frac{V^2}{2g}, \quad (1)$$

де λ – гідравлічний коефіцієнт тертя (коефіцієнт Дарсі), який визначається за допомогою дослідних даних; l – довжина ділянки труби, на якій визначаються втрати напору по довжині, м; d_p – розрахунковий внутрішній діаметр труби, м; $\frac{V^2}{2g}$ – швидкісний напір, м.

Відомо [6, 10], що в загальному випадку гідравлічний коефіцієнт тертя залежить від двох складових – числа Рейнольдса та відносної шорсткості трубопроводу:

$$\lambda = f \left(\text{Re}; \frac{\Delta_{\text{екв.}}}{d_p} \right). \quad (2)$$

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій показує, що втрати напору для сталевих трубопроводів можливо визначати по різних таблицях і формулам [1, 2, 6]. Причому з впливом часу осад накопичується в трубах і порушує гідравліку руху води в них, збільшує шорсткість поверхні труби, сприяє росту гідравлічного опору труб, відіграючи роль джерела забруднення питної води [3-5]. Розроблені формули і таблиці [1], які й зараз широко використовуються, запропоновані на основі багатьох років досліджень Ф.О.Шевельова. Згідно цих таблиць, в результаті досліджень, знайдено залежність для коефіцієнта гідравлічного тертя для нових сталевих труб:

$$\lambda = \frac{0,312}{d_p^{0,226}} \left(1,9 \cdot 10^{-6} + \frac{\nu}{V} \right)^{0,226}, \quad (3)$$

де ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості для води, м²/с; V – середня швидкість в трубі, м/с.

Але розробки Ф.О.Шевельова проводились в 1981-1985 рр., а тому формула, представлена вище, дещо видозмінилась з часом і зараз її представлено [2] в іншому вигляді:

$$\lambda = k_1 \cdot k_2 \frac{0,23}{d_p^{0,226}} \left(1,9 \cdot 10^{-6} + \frac{\nu}{V} \right)^{0,226}, \quad (4)$$

де k_1 , k_2 – коефіцієнти, які враховують збільшення втрат напору при укладанні труб в натурних умовах в порівнянні з лабораторними.

Для визначення втрат напору в трубі h_l , необхідно: знайти зна-

чення коефіцієнта гідравлічного тертя λ і визначити режим руху води на ділянці відповідно до числа Рейнольдса: $Re = \frac{Vd}{\nu}$. Якщо $Re \leq 2320$ – маємо ламінарний режим; при $Re \geq 2320$ – турбулентний режим. Крім того, у турбулентному режимі розрізняють три зони: зону гідравлічно гладких труб, перехідну зону, зону квадратичного опору. Указані зони визначаються [5, 10] за такими значеннями безрозмірного параметра

$$Re \frac{\Delta_{екв.}}{d_p} :$$

- $Re \frac{\Delta}{d} \leq 10$ – зона гідравлічно гладких труб;
- $10 \leq Re \frac{\Delta_{екв.}}{d_p} \leq 500$ – перехідна зона;
- $Re \frac{\Delta_{екв.}}{d_p} \geq 500$ – зона квадратичного опору.

Для кожної зони існують відповідні формули для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя :

- для ламінарного режиму:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (5)$$

- для зони гідравлічно гладких труб за формулою Блазіуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}; \quad (6)$$

– сьогодні в гідравліці широко використовується універсальна формула [3, 5] визначення коефіцієнта гідравлічного тертя для всіх трьох зон, в тому числі й для перехідної зони, отримана російським вченим А.Д.Альтшулем:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_{екв.}}{d_p} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (7)$$

де $\Delta_{екв.}$ – еквівалентна шорсткість, м;

- для зони квадратичного опору за формулою Б.Л.Шифрінсона:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_{екв.}}{d_p} \right)^{0,25}. \quad (8)$$

Для подальших розрахунків будемо користуватись універсальною формулою А.Д.Альтшуля для порівняння втрат напору.

Оскільки раніше не проводилось або проводилось лише часткове порівняння втрат напору по довжині, запропоновано знайти значення цих втрат напору по довжині за всіма відомими формулами, в тому числі, які запропоновані і сучасними вченими [1, 2, 6, 7, 10]. Розрахувати і порівняти, як змінюється відносна шорсткість для сталевих труб і втрати напору від витрати, діаметра труби. Визначити залежності втрат напору по довжині і відносної шорсткості для сталевих труб.

Було зроблено порівняння формул, які запропонували Ф.О.Шевельов і М.О.Сомов [1, 2]. При порівнянні цих даних використовувались загальновідомі формули. Наприклад, визначення діаметра трубопроводу від витрати води:

$$d_p = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V}}. \quad (9)$$

Причому при першому порівнянні середня швидкість дорівнювала: $V = 1,0$ м/с. Для вибору внутрішнього діаметра труби було взято сортамент труб по [9], який має нерівність: $d_p \geq d_{ум}$. Далі проводився перерахунок швидкості в трубопроводі. В розрахунках взято кінематичну в'язкість води $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с, що відповідає температурі води 10 °С. Підставивши (9) у формулу (1), вона набирає такого вигляду:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d_p} \frac{8Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot d_p^4}. \quad (10)$$

Всі дані за формулами (3), (4) зведено в табл.1, 2 і наведено на рис.1.

Таблиця 1 – Визначення еквівалентної шорсткості по Ф.О.Шевельову

Q , м ³ /с	d , м	d_p , м	V' , м/с	λ	A , с ² /м ⁶	A' , с ² /м ⁶	K	h_b , м	Re	Δe , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,002	0,050	0,052	0,94	0,0351	7585,6	7627,9	0,99	34,17	37688	0,000443
0,004	0,071	0,066	1,15	0,0326	2097,7	2071,8	1,01	25,28	58942	0,000435
0,006	0,087	0,092	0,89	0,0309	378,1	382,1	0,98	16,91	63699	0,000480
0,008	0,100	0,104	0,94	0,0300	202,6	203,8	0,99	14,61	75377	0,000480
0,010	0,112	0,104	1,17	0,0294	202,6	199,8	1,01	14,61	94222	0,000455
0,015	0,138	0,13	1,13	0,0280	63,15	62,5	1,01	11,11	113066	0,000471

Продовження табл.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,020	0,159	0,155	1,06	0,0271	25,19	25,1	1,00	8,95	126440	0,000488
0,100	0,356	0,363	0,96	0,0225	0,2950	0,2959	0,99	3,15	269948	0,000550
0,250	0,564	0,616	0,83	0,0203	0,0186	0,0189	0,98	1,65	397691	0,000607
0,500	0,798	0,804	0,98	0,0188	0,0046	0,0046	0,99	1,19	609397	0,000597
0,750	0,977	1,004	0,94	0,0180	0,0014	0,0015	0,99	0,90	732005	0,000619
1,000	1,128	1,202	0,88	0,0174	0,0006	0,0006	0,98	0,72	815234	0,000645

Таблиця 2 – Визначення еквівалентної шорсткості по М.О.Сомову

Q , м ³ /с	d , м	d_p , м	V' , м/с	λ	A , с ² /м ⁶	A' , с ² /м ⁶	K	h_i , м	Re	$\Delta\epsilon$, м
0,002	0,050	0,052	0,94	0,0326	7045,8	7307,6	0,96	31,74	37688	0,000306
0,004	0,071	0,066	1,15	0,0303	1948,5	1984,8	0,98	23,48	58942	0,000304
0,006	0,087	0,092	0,89	0,0287	351,25	366,0	0,96	15,70	63699	0,000332
0,008	0,100	0,104	0,94	0,0279	188,25	195,3	0,96	13,57	75377	0,000334
0,010	0,112	0,104	1,17	0,0273	188,25	191,4	0,98	13,57	94222	0,000320
0,015	0,138	0,13	1,13	0,0260	58,65	59,8	0,98	10,32	113066	0,000331
0,020	0,159	0,155	1,06	0,0252	23,39	24,0	0,97	8,32	126440	0,000342
0,100	0,356	0,363	0,96	0,0209	0,2740	0,2835	0,96	2,93	269948	0,000386
0,250	0,564	0,616	0,83	0,0188	0,0173	0,0181	0,95	1,53	397691	0,000425
0,500	0,798	0,804	0,98	0,0175	0,0043	0,0044	0,96	1,10	609397	0,000422
0,750	0,977	1,004	0,94	0,0167	0,0013	0,0014	0,96	0,84	732005	0,000437
1,000	1,128	1,202	0,88	0,0161	0,0005	0,0005	0,95	0,67	815234	0,000454

При виконанні спрощених розрахунків та при величині швидкості $V=1,0$ м/с формулу (10) можна записати так:

$$h_l = 1,1A \cdot l \cdot Q^2, \quad (11)$$

де $A = \frac{8\lambda}{g \cdot \pi^2 \cdot d_{\text{ум}}^5}$ – питомий опір труби довжиною 1 м з діаметром $d_{\text{ум}}$.

Для швидкостей, відмінних від $V' > 1,0$ м/с, у формулу (8) введено швидкісний коефіцієнт K , при якому формула набирає остаточного вигляду:

$$h_l = K \cdot A' \cdot l \cdot Q^2, \quad (12)$$

де $A' = \frac{8\lambda}{g \cdot \pi^2 \cdot d_p^5}$ – питомий опір труби довжиною 1 м з діаметром d_p .

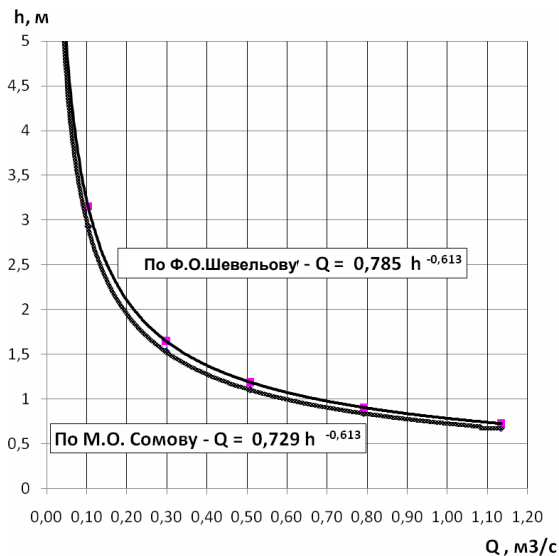


Рис.1 – Порівняння втрат напору

Для порівняння розрахунків за формулами (3), (4) було побудовано табл.3, визначена різниця між цими формулами, відображена на рис.2, склала $\delta \approx 30\%$.

Таблиця 3 – Різниця еквівалентної шорсткості

Середнє Δe за сучасною літературою [4], м	Δe по Сомову, м	Δe по Шевельову, м	Різниця δ між даними Сомова і Шевельова, %
0,0004 ÷ 0,0005	0,000306	0,000443	30,97
0,0004 ÷ 0,0005	0,000304	0,000435	30,07
0,0004 ÷ 0,0005	0,000332	0,000479	30,81
0,0004 ÷ 0,0005	0,000334	0,000480	30,55
0,0004 ÷ 0,0005	0,000320	0,000455	29,78
0,0004 ÷ 0,0005	0,000331	0,000471	29,80
0,0004 ÷ 0,0005	0,000342	0,000487	29,93
0,0004 ÷ 0,0005	0,000386	0,000549	29,81
0,0004 ÷ 0,0005	0,000425	0,000607	29,99
0,0004 ÷ 0,0005	0,000422	0,000597	29,40
0,0004 ÷ 0,0005	0,000437	0,000618	29,41
0,0004 ÷ 0,0005	0,000454	0,000644	29,54

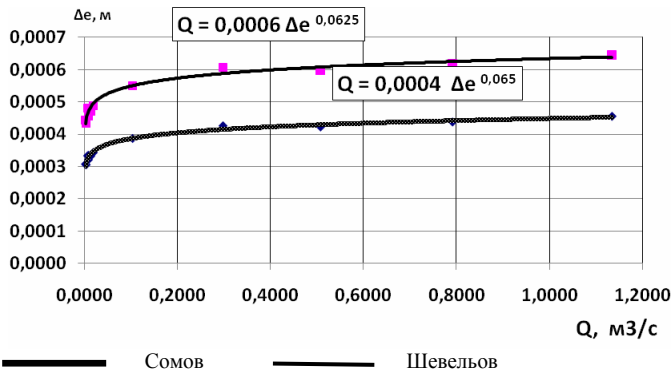


Рис.2 – Порівняння еквівалентної шорсткості

Таким чином, загальні втрати напору в трубі зменшуються зі збільшенням діаметра і витрат води, а отже еквівалентна шорсткість збільшується зі збільшенням витрати води. Визначена еквівалентна шорсткість для нових сталевих труб згідно загальновідомих формул по Ф.О.Шевельову та М.О.Сомову відповідає середнім значенням еквівалентної шорсткості, що запропоновано в багатьох виданнях сучасної літератури [6-8, 10].

1.Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев. – М.: Стройиздат, 1984. – 116 с.

2.Сомов М.А. Гидравлические свойства металлических труб с внутренним цементно-песчаным покрытием / М.А. Сомов, Д.И. Шлычков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – №5. – С.37-42.

3.Kowal A.L. Przyczyny i zapobieganie zmianom jakosci wody w systemach wodociagowych. – Ochrona Srodowiska, 4/2003. – S.3-6.

4.Girol M.M. Problems of the secondary pollution of potable water in water supply systems / M.M. Girol, V.Y. Khomko. – Conference «Water & environment». – К.: 7-10.10.2008. – S.330-331.

5.Swiderska-Broz M. Wplyw nierownomierosci rozbioru wody wodociagowej na zmianie jaj jakosci. – Ochrona Srodowiska, 4/2004. – S.21-23.

6.Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – М.: Недра, 1982. – 224 с.

7.Добромыслов А.Я. Таблицы для гидравлических расчетов напорных и безнапорных труб из полимерных материалов / Под ред. В.С. Ромейко (ПОСОБИЕ к СНиП 40-03-99; СП 40-102-98; СП 41-102-98; СП 40-103-98; СН 478-80). – М.: ТОО «Изд-во ВНИИМП», 2000. – 321 с.

8.Технический каталог-справочник. – Веста Трейдинг. – апрель 2008 г. – 348 с.

9.ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 14 с.

10.Константинов Ю.М. Технічна механіка рідини і газу / Ю.М. Константинов, О.О. Гіжа. – К.: Вища шк., 2002. – 277 с.

Отримано 22.04.2011